

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 101 27 298.7

**Anmeldetag:** 6. Juni 2001

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss, 89518 Heidenheim/DE

**Bezeichnung:** Beleuchtungssystem mit einem Gitterelement


**Priorität:** 29.09.2000 US 09/679718

**IPC:** G 21 K, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 1. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**

  
**Stark**

## Beleuchtungssystem mit einem Gitterelement

Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 100$  nm, wobei das Beleuchtungssystem, eine Objektebene und eine Feldebene aufweist. Bei Beleuchtungssystemen  $\leq 100$  nm besteht das Problem, daß die Lichtquellen derartiger Beleuchtungssysteme Strahlung emittiert, die zu einer unerwünschten Belichtung des lichtsensitiven Objektes in der Waferenebene führen kann und zudem optische Komponenten des Belichtungssystemes, wie beispielsweise die Multilayer-Spiegel hierdurch erwärmt werden.

Zum Ausfiltern der unerwünschten Strahlung werden in Beleuchtungssystemen für Wellenlängen  $\leq 100$  nm Transmissionsfilter, verwandt. Derartige Filter haben den Nachteil hoher Lichtverluste. Desweiteren können sie sehr leicht durch Wärmebelastung zerstört werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 100$  nm, insbesondere im EUV-Bereich anzugeben, in dem die obengenannten Nachteile vermieden werden können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Beleuchtungssystem gelöst, das mindestens ein Gitterelement aufweist und mindestens einer physikalischen Blende in einer Blendenebene, die dem Gitterelement im Strahlengang von der Objektebene zur Feldebene nachgeordnet ist.

Gitterelemente, beispielsweise Reflexionsgitter, insbesondere Echelette-Gitter, die auch als Blaze-Gitter bezeichnet werden, sind schon länger aus dem Monochromatorbau für Synchrotronstrahlungsquellen bekannt, wobei gute Erfahrungen insbesondere auch bei sehr hohen Flüssen vorliegen.

Betreffend den Einsatz von Beugungsgittern in Monochromatoren wird auf die nachfolgenden Druckschriften verwiesen, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird:

- 5
- H.Petersen, C.Jung, C.Hellwig, W.B.Peatman, W.Gudat : "Review of plane grating focusing for soft x-ray monochromators", Rev.Sci.Instrum. 66(1), January 1995
  - M.V.R.K.Murty: "Use of convergent and divergent illumination with plane gratings", Journal of the Optical Society of America, Vol.52, No.7, July 1962, S.768-773
  - T.Oshio, E.Ishiguro, R.Iwanaga: "A theory of new astigmatism- and coma-free spectrometer", Nuclear Instruments and Methods 208 (1993) 297-301
- 15

Die Erfinder haben nun erkannt, daß ein Gitterelement im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene zur spektralen Filterung in einem Beleuchtungssystem für Wellenlängen  $\leq 100$  nm dann verwendet werden kann, wenn die einzelnen Beugungsordnungen und die Wellenlängen deutlich voneinander getrennt sind.

Dies ist für ein Gitterelement innerhalb eines konvergenten Strahlbüschels am einfachsten. Das konvergente Strahlbüschel weist einen Fokus mit einem begrenztem Durchmesser auf.

Um eine stigmatische Abbildung eines Objektes in die Ebene der physikalischen Blende mit einem Gitterelement im konvergenten Strahlengang zu erreichen, kann in einer ersten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen sein, daß das optische Element in einer Meridionalebene konkav gekrümmt ist. Die Meridionalebene des optischen

Elementes ist dabei definiert als die Ebene, welche senkrecht zur Trägerfläche des Gitterelementes und den Gitterlinien steht.

5 Alternativ oder ergänzend hierzu kann das optische Element in der Sagittalebene, die senkrecht auf der Trägerfläche und der Meridionalebene steht und den Mittelpunkt des Gitterelementes beinhaltet, konvex gekrümmt sein.



Wenn eine innere Beugungsordnung ( $k = 1, 2, 3$ ) verwendet wird, ist die Brechkraft in meridionaler Richtung größer als in sagittaler Richtung, d.h. das Element ist z.B. in meridionaler Richtung konkav und in sagittaler Richtung plan oder in meridionaler Richtung plan und in sagittaler Richtung konvex oder in meridionaler Richtung konkav und in sagittaler Richtung konvex ausgebildet.

15

Bei Verwendung einer äußeren Beugungsordnung ( $k = -1, -2, -3$ ) ist die Brechkraft in sagittaler Richtung größer als in meridionaler Richtung, d.h. das Element ist in sagittaler Richtung konkav und in meridionaler Richtung plan oder in sagittaler Richtung plan und in meridionaler Richtung konvex oder in sagittaler Richtung konkav und in meridionaler Richtung konvex ausgebildet.



In vorliegender Anmeldung wird als innere Ordnung die Ordnung bezeichnet und mit positiven Zahlen belegt, die zur Flächennormalen hin gebeugt wird und als äußere Ordnung die Ordnung bezeichnet und mit negativen Zahlen belegt, die von der Flächennormalen weggebeugt wird.

25

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die stigmatische Abbildung durch eine Variation des Gitterlinienabstandes erreicht wird.

30

Die mindestens eine physikalische Blende gemäß der Erfindung dient im wesentlichen dazu, zu erreichen, daß Licht mit Wellenlängen weit oberhalb von 100 nm insbesondere durch Ausblenden der 0. Beugungsordnung nicht in das Beleuchtungssystem gelangt. Durch die eine physikalische Blende werden bevorzugt alle Beugungsordnungen außer einer Nutzordnung ausgeblendet. Die Nutzordnung kann beispielsweise die - 1.Ordnung sein.

Besonders bevorzugt ist es, wenn durch die Kombination von Gitter und physikalischer Blende die Strahlen nach der physikalischen Blende Wellenlängen im Bereich von 7 bis 26 nm aufweisen.

Das Gitterelement ist bevorzugt als Blaze-Gitter ausgelegt, das auf eine maximale Effizienz in einer vorgegebenen Beugungsordnung optimiert ist. Blaze-Gitter sind beispielsweise aus Lexikon der Optik, herausgegeben von Heinz Haferkorn, VEB Bibliographisches Institut, Leipzig 1990, Seiten 48 bis 49, bekannt. Sie zeichnen sich durch ein annähernd dreieckförmiges Furchenprofil aus.

Um eine zu große Wärmelast auf der physikalischen Blende in der Blendenebene zu vermeiden, kann ein Teil der nicht gewünschten Strahlung durch weitere Blenden im Beleuchtungssystem herausgefiltert werden.

Neben dem Beleuchtungssystem stellt die Erfindung auch eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem derartigen Beleuchtungssystem sowie ein Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen zur Verfügung.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Figuren beispielhaft beschrieben werden. Es zeigen:

- Figur 1: Anordnung eines Gitterelementes im Strahlengang der Kollektoreinheit eines Beleuchtungssystems
- Figur 2: Gitterelement und physikalische Blende eines Beleuchtungssystems
- Figur 3: Blaze-Gitter
- Figur 4: maximal mögliche Beugungseffizienz für als Blaze-Gitter ausgelegte Gitterelemente
- Figur 5: EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem

In Figur 1 ist ein Beleuchtungssystem mit einem Gitterelement 1 sowie einer physikalischen Blende in der Blendenebene gezeigt. Das Licht der Lichtquelle 3 wird bei dem dargestellten Beleuchtungssystem von einer sammelnden Komponente, dem Kollektor 5 gesammelt. Der Kollektor 5 ist in diesem Beispiel ein ellipsoidförmiger Spiegel, welcher ein Bild der Lichtquelle 3 erzeugt. Das konvergente Lichtbündel mit einer Apertur von etwa  $NA = 0.1$  hinter dem Kollektor 5 wird über das Gitterelement 1 im streifenden Einfall so abgelenkt, daß in oder in der Nähe der Blendenebenen der physikalischen Blende 7.3 das Zwischenbild der Lichtquelle zum Liegen kommt.

Durch mehrere vor der physikalischen Blende 7.3 angeordneten Teilblenden 7.1, 7.2 kann bereits nicht gewünschte Strahlung herausgefiltert werden, um die Wärmelast auf der physikalischen Blende 7.3 mit der kreisförmigen Öffnung, welche sich in der Fokusebene der gewünschten Beugungsordnung, hier der -1. Ordnung 16, befindet, zu verringern. Die Blenden 7.1, 7.2 können zusätzlich gekühlt werden, was nicht dargestellt ist. Auch das Gitterelement 1 kann gekühlt sein, beispielsweise durch eine rückseitige Kühlung. Die rückseitige Kühleinrichtung 8 des Gitterelementes 1 ist bevorzugt eine Flüssigkühleinrichtung mit Zu- und Ablauf 10.1, 10.2. Durch das

Gitterelement 1 und die physikalische Blende 7.3 gelingt es, die 0.Ordnung, die sämtliche Wellenlängen der Lichtquelle umfaßt, in dem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem vollständig zu blocken. Darüber hinaus werden auch alle anderen Ordnungen außer der -1. Ordnung blockiert.

Legt man bei einem Beleuchtungssystem mit Kollektor gemäß Figur 1 das Gitter als ebenes Gitter mit gleicher Gitterperiode aus, so ergibt sich eine astigmatische Abbildung der Lichtquelle. Um die Beugungsordnungen gut voneinander trennen zu können, ist eine stigmatische Abbildung der Lichtquelle 3 für eine Beugungsordnung, die nicht die 0. Beugungsordnung ist, in die Ebene der physikalischen Blende 7.3 erforderlich.

Man kann nun durch verschiedene Methoden versuchen, diesen Astigmatismus zu korrigieren, beispielsweise durch Einbringen zusätzlicher Brechkraft in der Meridionalebene oder Sagittalebene oder Variation des Gitterlinienabstandes.

Nachfolgend soll hierfür die Ableitung gegeben werden:

Ausgangspunkt für nachfolgende Betrachtung ist die Gittergleichung für ein paralleles Strahlenbündel:

$$N \cdot k \cdot \lambda = \sin \alpha + \sin \beta \quad (1)$$

wobei N die Linienzahldichte, k die Beugungsordnung,  $\lambda$  die Wellenlänge,  $\alpha$  der Einfallswinkel und  $\beta$  der Beugungswinkel (bezüglich der Flächennormalen der Trägerfläche und jeweils bezogen auf den Hauptstrahl  $CR_{\text{vor}}$  bzw.  $CR_{\text{nach}}$ ) ist. Die Nomenklatur, die bei der nachfolgenden Ableitung verwendet wird, orientiert sich an "Lexikon der

Optik" in zwei Bänden, hrsg. H.Paul, Heidelberg, Berlin, Spektrum, Akad. Verlag 1999, Bd.1, A-L S.77-80.

Zur Erläuterung der nachfolgenden Ableitung wird auf Figur 2 verwiesen.

5

Im in Figur 2 gezeigten Fall wird die konvergente Strahlung einer nicht gezeigten Lichtquelle durch das Gitterelement 1 spektral aufgespalten und am Zwischenfokus 19 durch die physikalische Blende 7.3 selektiert. Am Zwischenfokus 19 wird eine NA von 0,12 erreicht. In Figur 2 gezeigt ist ein konvergentes einfallendes Strahlbüschel 100. Dieses wird am Gitter 1 gebeugt. Dargestellt ist das in die 0.Beugungsordnung gebeugten Strahlbüschel 12 sowie das in die 1.Beugungsordnung gebeugte Strahlbüschel 14. Das in die 0.Beugungsordnung gebeugte Strahlbüschel hat einen Fokuspunkt 112 und das in die 1.Ordnung gebeugte Strahlbüschel einen Fokuspunkt 114. Durch den jeweiligen Fokuspunkt 112, 114 und den Auftreffpunkt 102 des Hauptstrahles  $CR_{vor}$  des einfallenden Strahlbüschels 100 auf das Gitter 1 werden die Bildweiten  $s_{vor}$  und  $s_{nach}$  definiert. Hierbei bezeichnet  $s_{vor}$  den Abstand des Auftreffpunktes 102 vom Fokuspunkt 112 des in die 0.Beugungsordnung gebeugten Strahlbüschels und  $s_{nach}$  den Abstand des Auftreffpunktes 102 vom Fokuspunkt 114 des in die 1.Ordnung gebeugten Strahlbüschels 14. Der Winkel  $\alpha$  bezeichnet den Einfallswinkel des Hauptstrahles  $CR_{vor}$  des einfallenden Strahlbüschels bezüglich der Flächennormalen der Trägerfläche des Gitters 1 und  $\beta$  den Beugungswinkel des Hauptstrahles  $CR_{nach}$  des in die 1.Ordnung gebeugten Strahlbüschels 14 bezüglich der Flächennormalen der Trägerfläche. Desweiteren eingezeichnet sind die Ebenen 106, 108 die im Auftreffpunkt 102 auf das Gitter 1 senkrecht auf dem Hauptstrahl  $CR_{vor}$  des auftreffenden Strahlbüschels 100 und senkrecht auf dem Hauptstrahl  $CR_{nach}$  des in die 1.Beugungsordnung gebeugten Strahlbüschels 14 stehen.

15

20

25

30



Betrachtet man nun im konvergenten Strahlengang eines Beleuchtungssystems ein Reflexionsgitter, das wie in Figur 2 gezeigt vor dem Zwischenfokus 19, der in vorliegendem Ausführungsbeispiel mit dem Fokuspunkt 114 des in die 1. Ordnung gebeugten Strahlbüschels zusammenfällt, plaziert ist, so muß die optische Wirkung des Gitters beachtet werden. Diese läßt sich aus der Erhaltung des Phasenraumvolumens bzw. des Lichtleitwertes oder der Etendue ableiten. Da der Beugungswinkel  $\beta$  für Ordnungen ungleich der 0. Ordnung ungleich dem Einfallswinkel  $\alpha$  ist, verändert sich der Querschnitt des Strahlbüschels in der Ebene 106, 108, die senkrecht auf dem Hauptstrahl  $CR_{\text{vor}}$  des einfallenden Strahlbüschels bzw. dem Hauptstrahl  $CR_{\text{nach}}$  des gebeugten Strahlbüschels steht. Durch den vorgenannten Erhaltungssatz muß sich damit die Divergenz reziprok ändern. Das heißt, wird ein Gitter in der inneren Ordnung betrieben ( $|\alpha| > |\beta|$ ), dann wird das Bündel um  $\cos(\beta)/\cos(\alpha)$  größer und die Divergenz um denselben Faktor kleiner. Dadurch verlängert sich die Distanz bis zum Fokus bzw. Fokuspunkt um den quadratischen Faktor. Dieser Faktor wird nachfolgend als Fixfokuskonstante  $c_{\text{ff}}$  bezeichnet:

$$c_{\text{ff}} = \cos(\beta)/\cos(\alpha) \quad (2)$$

Damit ergibt sich für den Bündelquerschnitt am Gitter:

$$d_{\text{nach}} = d_{\text{vor}} c_{\text{ff}} \quad (3)$$

bzw. für die numerische Apertur NA:

$$NA_{\text{nach}} = NA_{\text{vor}} / c_{\text{ff}} \quad (4)$$

wobei  $d_{\text{nach}}$  den Bündelquerschnitt des gebeugten Strahlbüschels 14 in der Ebene 108 und  $d_{\text{vor}}$  den Bündelquerschnitt des einfallenden Strahlbüschels

100 in der Ebene 106,  $NA_{\text{nach}}$  die numerische Apertur des gebeugten Strahlbüschels 14 und  $NA_{\text{vor}}$  die numerische Apertur des einfallenden Strahlbüschels bezeichnet.

5 Für die Bildweite  $s$  wie zuvor definiert, gerechnet ab dem Gitter ergibt sich:

$$s_{\text{nach}} = s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2. \quad (5)$$

10 Zu beachten ist, daß das Gitter nur in der meridonalen bzw. dispersiven Richtung wirkt. Damit die Abbildung stigmatisch ist, ist es vorteilhaft zusätzlich eine optische Wirkung z.B. in sagittaler Richtung einzuführen.

15 Das kann zum Beispiel für den Fall, daß eine innere Beugungsordnung ( $k = 1, 2, 3$ ) verwendet wird, durch eine konvexe Krümmung in sagittaler Richtung erreicht werden.

Für den Fall, daß eine äußere Beugungsordnung ( $k = -1, -2, -3$ ) verwendet wird, ist es vorteilhaft, daß das Gitter sagittal konkav gewählt wird.

20 Alternativ zu einem gekrümmten Gitter kann auch der Gitterlinienabstand variiert werden.

25 Für den Fall einer sagittal konvexen Krümmung muß der Radius so gewählt werden, daß aus der Bildweite  $s_{\text{vor}}$  in der 0. Ordnung eine Bildweite von  $s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2$  wird. Über die Abbildungsgleichung kann man die sagittale Brennweite  $f_s$  errechnen:

$$f_s = s_{\text{vor}} / (1 / c_{\text{ff}}^2 - 1) \quad (6)$$

30 Zusammen mit dem Beugungswinkel ergibt sich schließlich der sagittale Radius zu:

$$R_s = f_s (\cos\alpha + \cos\beta) \quad (7)$$

Im nachfolgenden soll an einem Ausführungsbeispiel abgeschätzt werden, wie ein Gitterelement 1 beschaffen sein muß, damit die nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

- die Strahlbüschel der 0. und 1. Ordnung bzw. -1. Ordnung sind getrennt, d.h. am Fokuspunkt eines Strahlbüschels einer Beugungsordnung überlappt dieses Strahlbüschel nicht mit einem Strahlbüschel einer anderen Beugungsordnung
- die Nutzwellenlänge muß vom störenden Anteil getrennt sein
- die Distanz zum Zwischenfokus muß klein sein, damit das Gitter nicht zu groß wird
- die Beugungsgeometrie muß für beste Beugungseffizienz optimiert sein
- der Astigmatismus, der für die innere Ordnung eine defokussierende Wirkung und für die äußere Ordnung eine fokussierende Wirkung erzeugt, soll klein bleiben

Insbesondere die erste Bedingung entscheidet über die Effektivität des Gitterelementes. Eine Formel für die Abschätzung der Trennung der Strahlbüschel der verschiedenen Beugungsordnungen voneinander läßt sich unter Bezugnahme auf Figur 2 wie folgt ableiten. So ergibt sich der Abstand  $\Delta x_0$  der Hauptstrahlen der Strahlbüschel unterschiedlicher Beugungsordnung am Fokuspunkt der 0. Ordnung aus den Beugungswinkeln:

$$\Delta x_0 = s_{\text{vor}} \sin(\alpha + \beta) \quad (8)$$

und der Abstand  $\Delta x_1$  am Fokuspunkt der Beugungsordnung:

$$\Delta x_1 = s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2 \sin(\alpha + \beta). \quad (9)$$

Da das jeweils andere Strahlbüschel nicht fokussiert ist, also eine Ausdehnung besitzt, ist es zur Abschätzung, ob die Strahlbüschel im Fokuspunkt nicht überlappen, notwendig, die Ausdehnung des anderen Strahlbüschels abzuschätzen. Dies kann über die Divergenz bzw. die numerische Apertur abgeschätzt werden. Für die Ausdehnung des Strahlbüschels der 0. Ordnung am Fokuspunkt der Beugungsordnung ergibt sich:

$$\Delta d_1 = 2 \text{ NA } c_{\text{ff}} |s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2 - s_{\text{vor}}|. \quad (10)$$

und für die Ausdehnung des Strahlbüschels der 1. Ordnung bzw. der -1. Ordnung am Fokuspunkt der 1. Ordnung bzw. -1. Ordnung:

$$\Delta d_0 = 2 \text{ NA } |s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2 - s_{\text{vor}}|. \quad (11)$$

Die Differenz von z.B.  $\Delta x_0$  und  $\Delta d_0/2$  ergibt z.B. den Abstand der Randstrahlen des gebeugten Strahlbüschels vom Fokuspunkt des Strahlbüschels der 0. Ordnung. Um einen Überlapp von verschiedenen Strahlbüschel zu verhindern sollte dieser Abstand mindestens dem halben Durchmesser des Strahlbüschels im Fokuspunkt, der mit  $\Delta x_1$  bezeichnet wird, entsprechen; dann wird eine ausreichende Trennung der Strahlbüschel der 0. Beugungsordnung von den Strahlbüscheln anderer Beugungsordnungen erreicht.

Es soll also gelten:

$$s_{\text{vor}} \sin(\alpha + \beta) - \text{NA} |s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2 - s_{\text{vor}}| > \Delta x_1 \quad (12)$$

oder

$$s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2 \sin(\alpha + \beta) - NA c_{\text{ff}} |s_{\text{vor}} c_{\text{ff}}^2 - s_{\text{vor}}| c_{\text{ff}} > \Delta x_t \quad (13)$$

Mit den obengenannten Überlegungen und Formeln läßt sich das, durch die nachfolgenden in Tabelle 1 angegebenen Größen charakterisierte, Gitterelement mit sagittaler konvexer Krümmung konstruieren, das sich durch eine Gittereffizienz von 56 % auszeichnet.

Tabelle 1: Charakteristische Größen eines Gitterelementes mit konvexer Querkrümmung.

Wellenlänge	13,4	nm
Photonenenergie	92,5	eV
Linienzahl	1600	l/mm
Beugungsordnung	1	
Fixfokuskonstante $c_{\text{ff}}$	1,2	
Inzidenzwinkel $\alpha$ des Hauptstrahles $CR_{\text{vor}}$	72,360	Grad
Beugungswinkel $\beta$ des in die 1.Ordnung gebeugten Hauptstrahles $CR_{\text{nach}}$	-68,676	Grad
Blazetiefe	20,1	nm
Abstand Gitter-Fokus	432	mm
sagittaler Radius	654,555	mm
NA (nach Gitter)	0,12	
Gitterlänge	237	mm
Belegung	Ru	
Mikrorauigkeit	0,5	nm (rms)

Gittereffizienz	56	%
-----------------	----	---

Mit dem Gitterelement 1 gemäß Ausführungsbeispiel in Tabelle 1 in Kombination mit einer Blende können Wellenlängen oberhalb von etwa 18 nm und unterhalb 8 nm beinahe vollständig herausgefiltert werden.

Hierdurch kann die Wärmelast auf den Spiegel eines Projektionssystems deutlich reduziert werden.

Um ein Gitterelement 1 mit optimaler Beugungseffizienz zu erhalten, wird das Gitterelement bevorzugt als Blaze-Gitter ausgebildet.

In Figur 3 ist ein Blaze-Gitter mit annähernd dreieckförmigen Furchenprofil gezeigt. Die Bezugsziffer 11 bezeichnet den auf das als Blaze-Gitter ausgelegten Gitterelementes 1 auftreffenden Strahl; 12 den am Gitter in die 0.Ordnung reflektierten und 16 den in die 1.Ordnung gebeugten Strahl. Die Blaze-Tiefe B ist eine Funktion der Einfalls- und Ausfallwinkel. Daher ist es vorteilhaft, wenn zur Erreichung einer maximalen Beugungseffizienz bei einem konvergenten Strahlbüschel sich in Abhängigkeit von der Position auf dem Gitter die Blaze-Tiefe ändert.

Verwendet man ein derartiges Gitterelement, dessen lokale Blaze-Tiefe B sich mit der Position auf dem Gitter ändert, so erhält man eine maximale Effizienz gemäß Figur 4. Wie Figur 4 zeigt, hängt die Beugungseffizienz  $\eta(1)$  von den verwendeten Materialien ab.

In Figur 4 bezeichnet Bezugsziffer 200 die Beugungseffizienz  $\eta(1)$  bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 13,5$  nm für Ruthenium, Bezugsziffer 202 für Palladium, Bezugsziffer 204 für Rhodium und Bezugsziffer 206 für Gold.

Wie aus Figur 4 hervorgeht, ist mit Ruthenium die höchste Effizienz von 0,7 zu erreichen. Eine Beschichtung aus Palladium oder Rhodium, die bessere Langzeiteigenschaften aufweist, weist aber nur eine um 3 % schlechtere

Effizienz  $\eta(1)$  von 0,67 auf. Gold wird üblicherweise bei Synchrotrongittern verwendet, hat aber, wie aus der Kurve 206 hervorgeht, bei  $\lambda = 13,5$  nm eine deutlich schlechtere Effizienz als die vorgenannten Materialien.

5 In Figur 5 ist eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Gitterelement 1 gezeigt. Die EUV-Projektionsbelichtungsanlage umfaßt eine Lichtquelle 3, ein sammelnde optische Komponente, einen sog. Kollektor 5, der als genesteter Kollektor gemäß der deutschen Patentanmeldung DE-A-10102934, eingereicht am 23.01.2001, beim Deutschen Patentamt für die Anmelderin, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung miteingeschlossen wird, ausgebildet ist. Der Kollektor 5 bildet die in der Objektebene des Beleuchtungssystems liegende Lichtquelle 3 in eine sekundäre Lichtquelle 4 in oder in der Nähe einer Blendenebene 7.3 ab.

15

Vorliegend ist die Lichtquelle 3, die beispielsweise eine Laser-Plasma-Quelle oder eine Plasma-Entladungsquelle sein kann, in der Objektebene des Beleuchtungssystems angeordnet; in der Blendenebene 7.3 des Beleuchtungssystems kommt das Bild der primären Lichtquelle zum Liegen, die auch als sekundäre Lichtquelle bezeichnet wird.

20

Zwischen Gitterelement 1 und der physikalischen Blende 7.3 sind zusätzliche Blenden 7.1, 7.2 angeordnet, um das Licht ungewünschter Wellenlängen, insbesondere Wellenlängen größer als 30 nm, abzublocken. Erfindungsgemäß kommt in der Ebene der Blende 7.3 der Fokus der 1.Ordnung zu Liegen, d.h. die Lichtquelle 3 wird durch Kollektor und Gitterspektralfilter in der 1. Beugungsordnung nahezu stigmatisch in die Ebene der Blende 7.3 abgebildet. Die Abbildung in alle anderen Beugungsordnungen ist nicht stigmatisch.

30

Des weiteren umfaßt das Beleuchtungssystem des Projektionssystems ein optisches System 20 zur Formung und Ausleuchtung der Feldebene 22 mit einem ringförmigen Feld. Das optische System umfaßt als Mischeinheit zur homogenen Ausleuchtung des Feldes zwei Facettenspiegel 29.1, 29.2 sowie zwei abbildende Spiegel 30.1, 30.2 und einen feldformenden grazing-incidence Spiegel 32. Im optischen System 20 sind zusätzliche Blenden 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 zur Unterdrückung von Falschlicht angeordnet.

Der erste Facettenspiegel 29.1, der sogenannte Feldfacettenspiegel, erzeugt eine Vielzahl von sekundären Lichtquellen in oder in der Nähe der Ebene des zweiten Facettenspiegels 29.2, dem sogenannten Pupillenfacettenspiegel. Die nachfolgende Abbildungsoptik bildet den Pupillenfacettenspiegel 29.2 in die Austrittspupille des Beleuchtungssystems ab, welche in der Eintrittspupille des Projektionsobjektives 26 zum Liegen kommt. Die Neigungswinkel der einzelnen Facetten der ersten und zweiten Facettenspiegel 29.1, 29.2 sind dabei so ausgelegt, daß sich die Bilder der einzelnen Feldfacetten des ersten Facettenspiegels 29.1 in der Feldebene 22 des Beleuchtungssystems überlagern und somit eine weitgehend homogenisierte Ausleuchtung der strukturtragenden Maske, welche in dieser Feldebene 22 zum Liegen kommt, ermöglicht wird. Das Segment des Ringfeldes wird über den unter streifenden Einfall betriebenen feldformenden grazing-incidence Spiegel 32 ausgebildet.

Ein doppelt facettiertes Beleuchtungssystem ist beispielsweise in dem US-Patent US-B-6198793 offenbart, abbildende und feldformende Komponenten in der PCT/EP/00/07258. Der Offenbarungsgehalt dieser Schriften wird vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen.



Die in der Feldebene 22 angeordnete strukturtragende Maske, die auch als Retikel bezeichnet wird, wird mit Hilfe eines Projektionsobjektives 26 in die Bildebene 28 der Feldebene 22 abgebildet wird. Das Projektionsobjektiv 26 ist ein 6-Spiegel-Projektionsobjektiv wie beispielsweise in der US-  
5 Anmeldung 60/255214 eingereicht am 13.12.2000 beim US-Patentamt für die Anmelderin bzw. der DE-A-10037870 offenbart, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird. In der Bildebene 28 ist das zu belichtende Objekt, beispielsweise ein Wafer, angeordnet.

Als Fertigungsmöglichkeit für ein erfindungsgemäßes Gitterelement kommt beispielsweise die Replikatechnik in Betracht.

Mit der Erfindung wird erstmals ein Beleuchtungssystem angegeben, mit dem unerwünschte Wellenlängen direkt nach der Lichtquelleneinheit selektiert werden können und das eine Alternative zu Filterfolien darstellt, die insbesondere hinsichtlich der Wärmebelastung problematisch sind.

15

## Bezugszeichenliste

	1	Gitterelement
5	3	Lichtquelle
	5	Kollektor
	7.1, 7.2, 7.3	
	7.4, 7.5, 7.6	
	7.7	Blenden
10	8	Kühleinrichtung
	10.1, 10.2	Zu- und Ablauf der Kühleinrichtung
	11	auftreffende Strahlung
	12	0. Ordnung der Nutzwellenfläche
	14	1. Ordnung der Nutzwellenfläche
15	16	-1. Ordnung der Nutzwellenfläche
	20	optisches System
	22	Feldebene
	26	Projektionsobjektiv
	28	Bildebene der Feldebene
20	29.1, 29.2	Facettenspiegel
	30.1, 30.2	abbildende Spiegel
	32	feldformende Spiegel
	34	Austrittspupille des Beleuchtungssystems
	100	konvergent einfallendes Strahlbüschel
25	102	Auftreffpunkt des Hauptstrahles $CR_{vor}$ auf das Gitter 1
	106	Ebene, die senkrecht auf dem Hauptstrahl $CR_{vor}$ steht
	108	Ebene, die senkrecht auf dem Hauptstrahl $CR_{nach}$ steht
	112	Fokuspunkt des in die Ordnung gebeugten Strahlbüschels
	114	Fokuspunkt des in die 1.Ordnung gebeugten Strahlbüschels
30	200, 202,	
	204, 206	Beugungseffizienz $\eta(1)$ für unterschiedliche Materialien

### Patentansprüche

5

1. Beleuchtungssystem insbesondere für Wellenlängen  $\leq 100$  nm mit einer Objektebene und einer Feldebene (22),  
dadurch gekennzeichnet, daß  
das Beleuchtungssystem umfaßt

- 1.1 mindestens ein Gitterelement (1) sowie
- 1.2 mindestens eine physikalischen Blende (7.3) in einer Blendenebene, die dem Gitterelement im Strahlengang von der Objektebene zur Feldebene (22) nachgeordnet ist.

15

2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß  
das Beleuchtungssystem eine Kollektoreinheit (5) zur Erzeugung eines konvergenten Lichtbündels aufweist und das konvergente Lichtbündel auf das Gitterelement (1) trifft.

20

3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß  
das Gitterelement (1) derart ausgestaltet ist, daß es Lichtbüschel unterschiedlicher Beugungsordnung mit je einem Fokuspunkt erzeugt und daß der Fokuspunkt des Lichtbündels der k.-ten Beugungsordnung des Gitterelementes am Ort der physikalischen Blende zu Liegen kommt, wobei  $|k| \geq 1$  ist.

25

4. Beleuchtungssystem gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß  
die mindestens eine physikalische Blende (7.3) die Strahlen der n.-ten Beugungsordnung des Gitterelementes durchläßt, wobei  $|k| \geq 1$

30

ist und alle Strahlen der k.-ten Beugungsordnung zu mehr als 90 % blockiert, wobei  $m \neq k$  ist.

5

5. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlen nach der physikalischen Blende (7.3) Wellenlängen im Bereich 7 - 26 nm aufweisen.

10

6. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Meridionalebene für das Gitterelement gegeben ist, welche senkrecht auf einer Trägerfläche des Gitterelementes und senkrecht zu den Gitterlinien steht und daß die Trägerfläche des Gitterelementes in der Meridionalebene konkav oder konvex gekrümmt ist.

15

7. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Sagittalebene für das Gitterelement gegeben ist, welche senkrecht auf einer Trägerfläche des Gitterelementes und parallel zu den Gitterlinien steht und den Mittelpunkt des Gitterelementes beinhaltet und daß das Gitterelement in der Sagittalebene konvex oder konkav gekrümmt ist.

20

25

8. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand der Gitterlinien des Gitterelementes variiert.

30

9. Beleuchtungssystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß

der Abstand der Gitterlinien mit größer werdendem Einfallswinkel der Strahlen des einfallenden Lichtbüschels abnimmt.

- 5
10. Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitterelement ein Blaze-Gitter ist.
- 10
11. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß  
in der Objektebene des Beleuchtungssystems eine primäre Lichtquelle (3), vorzugsweise eine Laser-Plasma-Quelle, angeordnet ist, die in eine sekundäre Lichtquelle (4) am Ort der physikalischen Blende (7.3) des Beleuchtungssystems abgebildet wird.
- 15
12. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß  
das Beleuchtungssystem zwischen der Blendenebene mit der physikalischen Blende und der Feldebene ein optisches System (20) zur Formung und Ausleuchtung eines Feldes umfaßt.
- 20
13. Beleuchtungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das optische System (20) eine Mischeinheit zur homogenen Ausleuchtung des Feldes umfaßt.
- 25
14. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 12 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Feld ein Segment eines Ringfeldes ist und das optische System feldformende Komponenten (32) umfaßt.
- 30
15. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem weitere Blenden (7.1, 7.2) im Strahlengang zwischen Objektebene und der Blendenebene (7.3) umfaßt.

16. Projektionsbelichtungsanlage zur Herstellung von  
mikroelektronischen Bauteilen mit
- 16.1 einem Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15
- 16.2 einer strukturtragenden Maske
- 5 16.3 einem Projektionsobjektiv (26)
- 16.4 einem lichtsensitiven Objekt, wobei die strukturtragende Maske auf  
das lichtsensitive Objekt abgebildet wird.
17. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen,  
insbesondere Halbleiter-Bauteilen mit einer  
10 Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 16.

## Gitterspektralfilter

### Zusammenfassung

5 Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem insbesondere für Wellenlängen  $\leq 100$  nm mit einer Objekzebene und einer Feldebene.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß

das Beleuchtungssystem umfaßt

10 mindestens ein Gitterelement sowie

mindestens eine physikalischen Blende in einer Blendenebene, die dem Gitterelement im Strahlengang von der Objekzebene zur Feldebene nachgeordnet ist.

(Figur 1)

15

Fig. 1

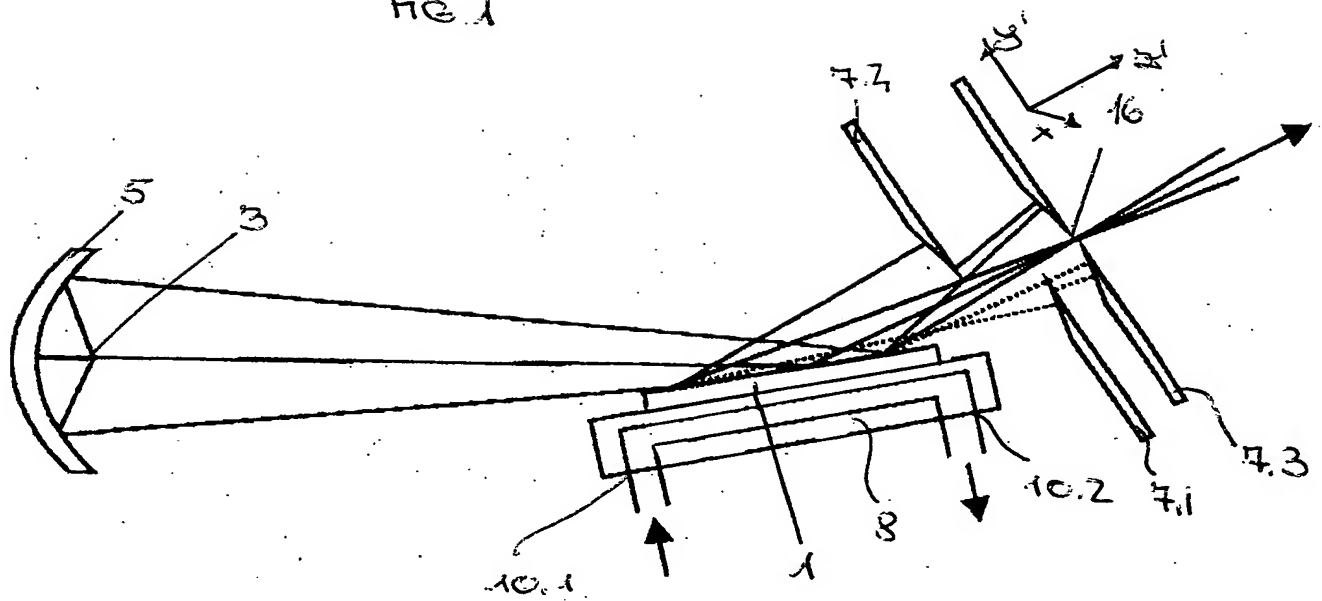




FIG. 2

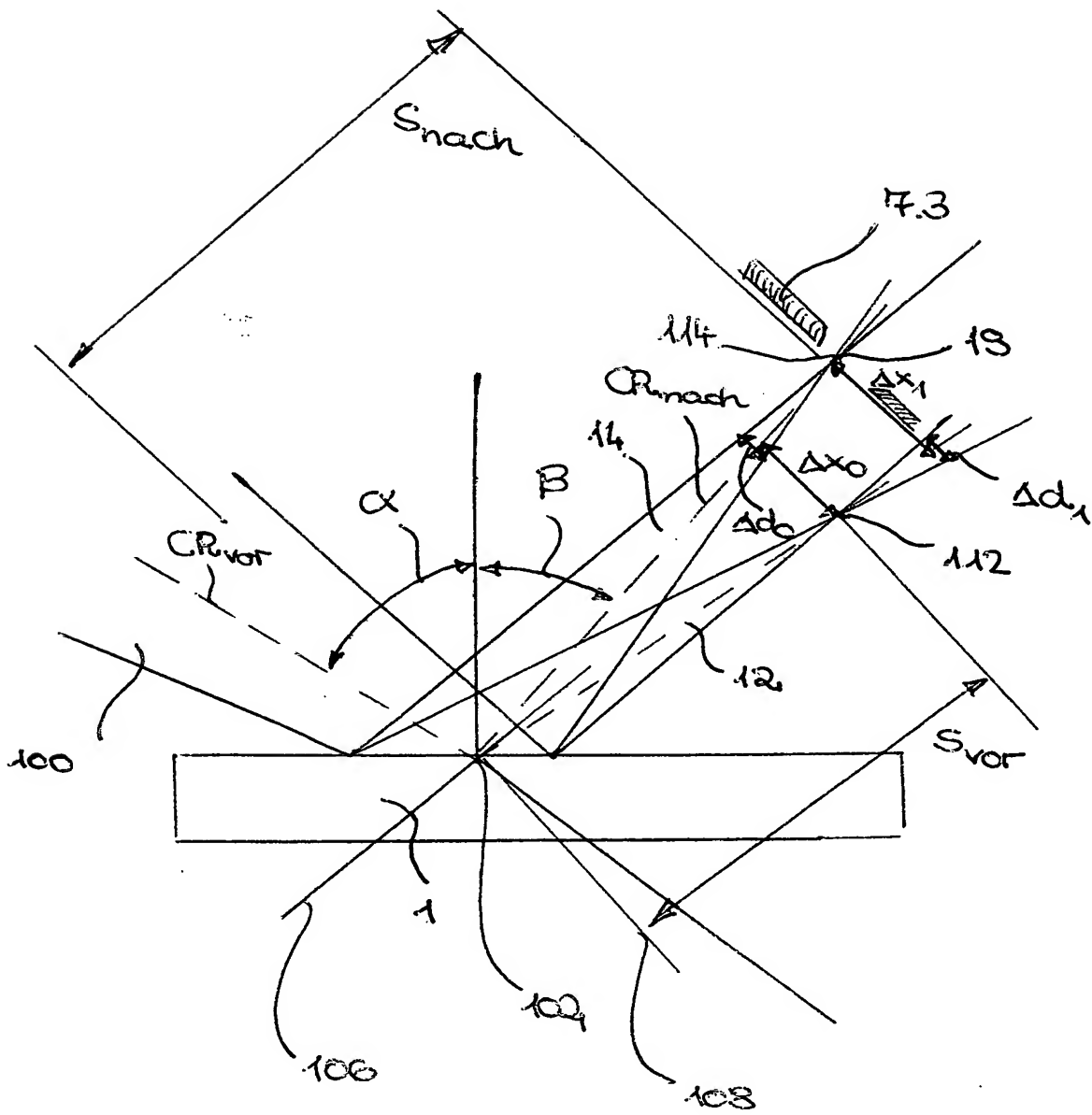


Fig. 3

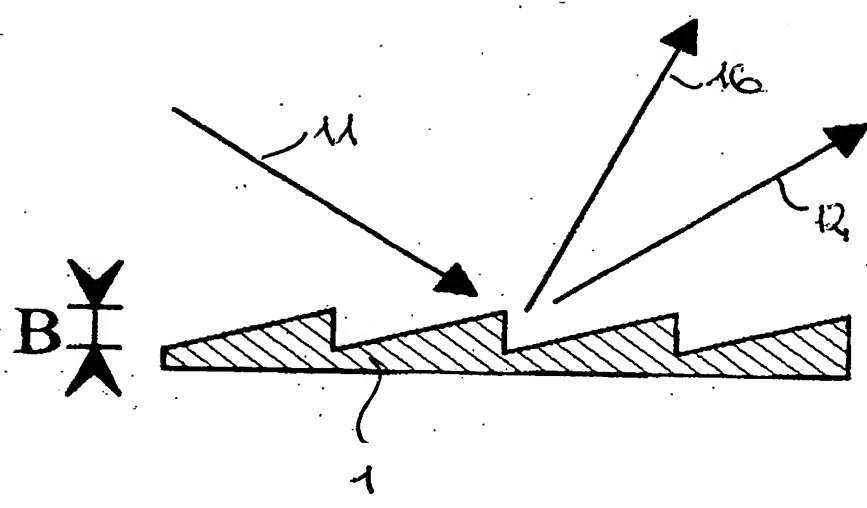


Fig. 4

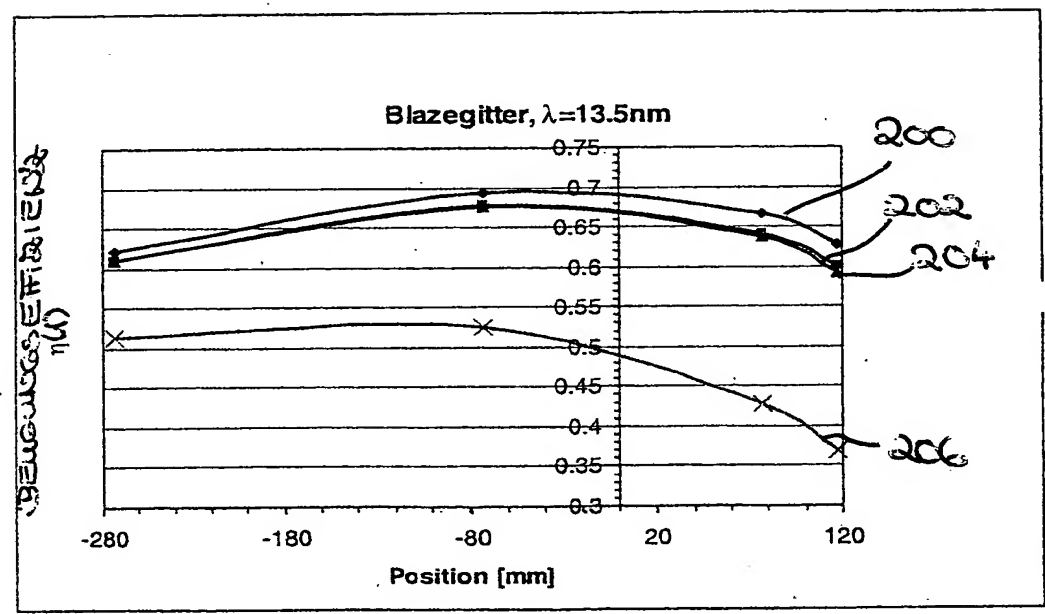


Fig 5

